

Vergleichende Untersuchungen der Härte und
des plasto-elastischen Verhaltens
verschiedener Modellierwachse sowie
des thermischen Verhaltens von
Prothesenaufstellungen in Wachs.

REINHARD HUPFAUER

1981





Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie (Direktor : Prof. Dr. H. Marx) der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vergleichende Untersuchungen der Härte und des plasto-elastischen Verhaltens verschiedener Modellierwachse sowie des thermischen Verhaltens von Prothesenaufstellungen in Wachs

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, dem Fachbereich Medizin vorgelegt von

Reinhard Hupfauer
aus München

Mainz 1981



Dekan : Prof. Dr. K.-H. Bäßler
1. Gutachter : Prof. Dr. H. Marx
2. Gutachter : Prof. Dr. K. Fuhr
Tag der mündlichen Prüfung : 11.11.1981

Meinen Eltern gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einleitung und Fragestellung	1
II. Literaturüberblick	
1. Definition und Einteilung der Wachse	2
2. Chemische Zusammensetzung der Wachse	5
3. Kurze Charakterisierung der Modellier- wachse	6
III. 1. Härteuntersuchungen	7
1.1 Aufstellung der getesteten Wachse	7
1.2 Theoretische Grundlagen	10
1.3 Versuchsaufbau	12
1.4 Vorversuche	13
1.5 Versuchsdurchführung	14
1.6 Meßdaten	15
1.7 Ergebnisse der Untersuchungen der Ein- dringtiefe	18
2. Plasto-elastisches Verhalten	19
2.1 Aufstellung der getesteten Wachse	19
2.2 Theoretische Grundlagen	19
2.3 Versuchsaufbau	21
2.4 Vorversuche	21
2.5 Versuchsdurchführung	22
2.6 Meßdaten	23
2.7 Ergebnisse der Untersuchungen des plasto- elastischen Verhaltens	26

	Seite
3. Thermisches Verhalten von Prothesen- aufstellungen	27
3.1 Aufstellung der getesteten Wachse	27
3.2 Theoretische Grundlagen	27
3.3 Versuchsaufbau	28
3.4 Vorversuche	28
3.5 Versuchsdurchführung	30
3.6 Ergebnisse	32
VI. Diskussion der Ergebnisse	37
V. Zusammenfassung	40
VI. Literaturverzeichnis	42

I. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Bei der Herstellung von Prothesen sind verschiedene Faktoren für die spätere Paßgenauigkeit, wie z.B. die Polymerisations-schrumpfung und die mechanische Beanspruchung durch den Patienten bei der Anprobe der Wachsaufstellung, zu berücksichtigen.

Ferner können Qualitätsmerkmale des verwendeten Wachses, wie seine Härte, sein plasto-elastisches Verhalten und seine Dimensionsveränderung in Abhängigkeit der Temperatur, beeinflussend sein; diese Faktoren zu untersuchen soll Aufgabe dieser Arbeit sein.

BAWENDI (1) verglich Aufstellungen mit den fertigen Kunststoffprothesen und stellte fest, daß sich nach der Polymerisation kein Zahn mehr in der Ausgangsposition befand. Er machte dafür die Polymerisationsschrumpfung verantwortlich. Entsprechende Feststellungen von EBERLE (2), REIMER-NEMATOLLAHI (3), SANDER (4) und WERNER (5) bestätigen das.

Den unterschiedlichen Temperaturen, bedingt durch Verarbeitung und Laborverhältnisse, sind laut Hersteller verschiedene Wachse (Sommer- und Winterwachs, weiches, hartes und extrahartes Wachs) angepaßt.

Zur Beeinflussung der Paßgenauigkeit durch unterschiedliche Härten wurden 30 Modellierwachse getestet. Für die weiteren Versuche zum plasto-elastischen Verhalten und der Dimensionsänderung wurden aufgrund der Ergebnisse der Härteuntersuchungen drei Wachse exemplarisch gewählt. Alle Versuchsreihen wurden bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt.

II. LITERATURÜBERBLICK

1. Definition und Einteilung der Wachse

Nach der Definition der Deutschen Gesellschaft für Fettwirtschaft (1954) ist Wachs "eine technologische Sammelbezeichnung für eine Reihe natürlicher oder künstlich gewonnener Stoffe, die in der Regel folgende Eigenschaften haben :

- | | | |
|------------------------|---|--|
| Bei 20 ⁰ C | - | knetbar, fest bis brüchig hart, grob bis fein kristallin, durchscheinend bis opak, jedoch nicht glasartig |
| Über 40 ⁰ C | - | ohne Zersetzung schmelzend, schon wenig oberhalb des Schmelzpunktes verhältnismäßig niedrigviskös und nicht fadenziehend, stark temperaturabhängige Konsistenz und Löslichkeit, unter leichtem Druck polierbar" (WEIKART 6). |

REHBERG (7) teilt die Wachse nach ihrer Herkunft und ihren Eigenschaften in fünf Gruppen ein :

I. Tierische Wachse

1. Bienenwachs
2. Schellackwachs (Indien)
3. Wollfettwachs

II. Pflanzenwachse

1. Carnaubawachs (Brasilien)
2. Fossile Wachse, z.B. Montanwachs (aus Braunkohle)

III. Kunst- bzw. synthetische Wachse

(halb- und vollsynthetische Wachse bzw. wachsähnliche Stoffe)

1. Lanette - Wachs (Gemisch höherer Fettalkohole)
2. Wachse der BASF und Ruhrchemie

IV. Kohlenwasserstoffe mit wachsähnlichen Eigenschaften

1. Paraffin (Destillationsprodukt des Erdöls)
2. Ozokerit
3. Ceresin (Erdwachs)

V. Hilfsstoffe

Stearinsäure (fällt bei der Verseifung von Fetten an)

Kolophonium (für bestimmte Zwecke wird neben Kunstharze auch Kolophonium, ein harzartiger Rückstand bei Abdestillieren des Terpen-
tinöls, den Wachsgemischen zugesetzt).

Entsprechend ihres Schmelzpunktes und ihrer Härte lassen sich die Wachse folgendermaßen einordnen :

NAME	SCHMELZPUNKT ($^{\circ}\text{C}$)	HÄRTE
Carnaubawachs	80°	hart
Kolophonium	$85^{\circ} - 90^{\circ}$	
Schellackwachs	$68^{\circ} - 75^{\circ}$	
Montanwachs	$78^{\circ} - 90^{\circ}$	
Stearinsäure	70°	
Paraffin	$45^{\circ} - 58^{\circ}$	
Ozokerit, Ceresin	$70^{\circ} - 90^{\circ}$	
Bienenwachs	$63^{\circ} - 65^{\circ}$	
Lanette - Wachs	$48^{\circ} - 35^{\circ}$	
Wollfettwachs	$31^{\circ} - 45^{\circ}$	weich

Tab. 1 : Schmelzpunkt + Härte verschiedener Wachse
n. REHBERG (7)

2. Chemische Zusammensetzung der Wachse

Die Wachse sind keine einheitlichen Stoffe, sondern Gemenge hochmolekularer Ester.

Vielfach enthalten sie außerdem freie Alkohole und freie Fettsäuren, auch Kohlenwasserstoffe, Geruchs- und Farbstoffe (KNISCHEWSKI 8).

Genauere Angaben über die chemische Zusammensetzung dentaler Wachse werden von den Herstellern nicht gemacht. Sie teilen die Wachse lediglich nach ihrem Verwendungszweck ein :

- Modellierwachs
- Gußwachs
- Klebewachs
- Bißwachs
- Abformwachs
- Setzwachs.

Darüberhinaus führen die Modellierwachse die bereits o.g. Bezeichnungen :

- Sommer- und Winterwachs, weich, hart und extrahart.

3. Kurze Charakterisierung der Modellierwachse

Hauptbestandteil der Modellierwachse ist meist das Paraffin, ferner das Stearin.

Als weitere Bestandteile kommen in Frage - Carnaubawachs, Walrat, Ceresin, Kolophonium, Sesamöl, Bolus, Talkum, zusätzlich organische Farbstoffe (8).

Daneben enthalten sie noch Bienenwachs und mineralische Stoffe.

Sie sollen sich bei nicht zu hoher Temperatur verarbeiten lassen, dabei weich und geschmeidig sein, aber nicht brechen.

Sie kommen als rosa gefärbte Platten in einer Größe von etwa 9 x 20 cm und mit einer Stärke von 1,2 - 1,5 mm in den Handel (6).

III. UNTERSUCHUNGEN

- 1. Härteuntersuchungen
 - 1.1 Aufstellung der getesteten Wachse
 - 1.1.1 Morsa Modellierwachs prima
Morsa Modellierwachs standard
Morsa Modellierwachs Labor
Morsa Modellierwachs 1155
Morsa Modellierwachs 1166
Hersteller : Krumbacher Wachswarenfabrik
Moritz Sallinger, Krumbach
 - 1.1.2 Gebdi Modellierwachs rosa Standard
Gebdi Modellierwachs rosa Export
Gebdi Modellierwachs rosa Extra
Gebdi Modellierwachs rosa Labor
Hersteller : Gebr. Ditzel GmbH
Wachswaren- und Kerzenfabrik,
Meckesheim
 - 1.1.3 Rosa Modellierwachs Spitzenqualität
Sommerwachs
Rosa Modellierwachs Spitzenqualität
Winterwachs
Hersteller : Dental-Union GmbH
Offenbach

1.1.4 Steinhart Modellierwachs Standard rosa

Steinhart Modellierwachs AA rosa

Steinhart Modellierwachs BB rosa

Hersteller : Gebr. Steinhart

Wachswarenfabrik Krumbach

Krumbach

1.1.5 Heko rosa Plattenwachs S

Heko rosa Plattenwachs SH

Heko rosa Plattenwachs SO

Heko rosa Plattenwachs T

Heko rosa Plattenwachs W

Hersteller : Heko- Werk

Chemische Fabrik Dr. Hengstmann & Co.

Berlin

1.1.6 Dentaureum Modellierwachs

Hersteller : Dentaureum

H.P. Winkelstroeter KG

Pforzheim

1.1.7 Kuki Modellierwachs

Hersteller : Wachsindustrie Fulda

Adam Gries GmbH & Co.

Fulda

1.1.8 Moyco Dental Wax Beauty Pink Hard

Moyco Dental Wax Beauty Pink X - Hard

Hersteller : The J. Bird Moyer Company

Philadelphia, Pa 19131, USA

1.1.9 Kerr Set up Wax - 2 regular

Kerr Set up Wax - 5 hard

Kerr Sure set Pink Base Plate Wax

Hersteller : Kerr Mfg. Co.

Romulus

Michigan, USA

1.1.10 Tenasyle Dental Modelling Wax

Hersteller : Associated Dental Products LTD

Purton, Swindon, England

1.1.11 Cavex 100 Keur u. Sneltjes Modellierwachs

Cavex 200 Keur u. Sneltjes Modellierwachs

Cavex 300 Keur u. Sneltjes Modellierwachs

Hersteller : Keur u. Sneltjes

Dental Mfg. Co.

Haarlem, Holland

1.2 Theoretische Grundlagen

Unter der Härte eines Körpers versteht man den Widerstand, den er dem Eindringen eines anderen härteren Körpers entgegensetzt.

Zur Kennzeichnung dieser Materialeigenschaft wird gemäß den Anweisungen der Fa. HAAKE bei Wachsen besser der Fließpunkt (F_k) herangezogen.

Dieser wurde bei den vorliegenden Untersuchungen mit der Meßeinrichtung IV des Konsistometers (o.g. Firma) ermittelt.

Zur Bestimmung des Fließpunktes F_k dringt ein Stahlkegel mit einem spitzen Winkel von $53^{\circ} 8'$ (Durchmesser der Grundfläche gleich der Höhe) in die zu untersuchende Probe ein.

Die an der Meßuhr abgelesene Eindringtiefe s entspricht dem Durchmesser der Basisfläche f des eingedrungenen Kegels.

$$f = \frac{s^2 \cdot \pi}{4} \quad (\text{mm}^2)$$

Um den Kegelfließpunkt festzustellen, wird nun diejenige Fläche gesucht, bei der der Prüfkörper durch die einwirkende Kraft zu fließen beginnt.

$$F_k = \frac{P}{f}$$

$$F_k = \frac{4 \cdot P}{s^2 \cdot \pi}$$

Da sich in der Praxis eine mathematisch exakte Kegelspitze nicht verwirklichen läßt, wird mit einem Kegelstumpf gearbeitet.

Aus diesem Grund müssen bei der Berechnung zur gemessenen Eindringtiefe $s = 0,2 \text{ mm}$ addiert werden.

1.3 Versuchsaufbau

Die Härteprüfung erfolgte mit einem Konsistometer der Firma HAAKE.

Die Versuchsanordnung konnte mit einem Umwälzthermostaten auf die gewünschten Temperaturen eingestellt werden.

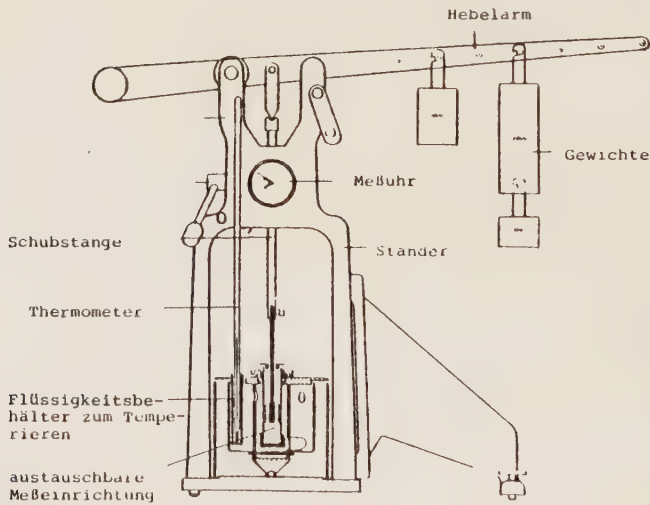


Abb. 1 : HAAKE Konsistometer

1.4. Vorversuche

1.4.1 Herstellung der Prüfkörper

Auf das Gießen der Prüfkörper wurde im Gegensatz zu NEHRING (9) verzichtet, um Strukturveränderungen beim Schmelzen und Lufteinschlüsse beim Gießen zu vermeiden.

Es wurden vielmehr mit einem Korkbohrer Wachsplättchen mit einem Durchmesser von 19 mm ausgestanzt und auf 320-er Schmirgelpapier plangeschliffen.

Um während einer Versuchsdauer von 1 min. ein Durchdrücken der Kegelspitze auf jeden Fall zu vermeiden, mußten Belastungsgewicht und Dicke des Prüfkörpers aufeinander abgestimmt werden.

Für beide Versuchstemperaturen (20°C bzw. $36,5^{\circ}\text{C}$) erwiesen sich 1,9 N und Stärken von drei bzw. fünf Wachsplättchen als geeignet.

1.4.1 Ermittlung des Aufsetzpunktes

Zur exakten Bestimmung des Aufsetzpunktes der Kegelspitze auf den Prüfkörper diente ein Ohmmeter.

Der Pluspol war auf der mit Graphitspray elektrisch leitend gemachten Oberfläche der Wachsprobe fixiert, der Minuspol am Kegel selbst; der Aufsetzpunkt wurde dann durch Kontaktschluß angezeigt.

1.5 Versuchsdurchführung

Nach den unter 1.4 beschriebenen Verfahren wurden von jedem Wachs, sechs Proben hergestellt; jeweils drei für Versuch A (20°C) und drei für Versuch B ($36,5^{\circ}\text{C}$), auf den Amboß der Meßeinrichtung gelegt und 30 Minuten lang temperiert.

Nach 1-minütiger Belastung konnte die Eindringtiefe der Kegelspitze an der Meßuhr abgelesen werden.

1.6 Meßdaten

PROBE	VERSUCH A : 20°C		VERSUCH B : 36,5°C	
	Eindring- tiefe	Mittel aus s 3 Messungen	Eindring- tiefe	Mittel aus s 3 Messungen
	(mm)	$\bar{s}$ (mm)	(mm)	$\bar{s}$ (mm)
Morsa Prima	0,46		3,11	
	0,45	0,47	3,02	3,12
	0,49		3,24	
Morsa Standard	0,42		3,70	
	0,43	0,43	3,50	3,56
	0,45		3,50	
Morsa Labor	0,34		2,67	
	0,34	0,34	2,61	2,62
	0,34		2,60	
Morsa 1155	0,42		3,68	
	0,43	0,43	3,73	3,71
	0,43		3,72	
Morsa 1166	0,36		2,50	
	0,34	0,35	2,57	2,55
	0,35		2,58	
Gebdi Standard	0,28		1,13	
	0,30	0,29	1,18	1,17
	0,28		1,21	
Gebdi Export	0,26		1,76	
	0,26	0,26	1,82	1,80
	0,27		1,81	
Gebdi Extra	0,43		1,82	
	0,43	0,43	1,84	1,83
	0,43		1,83	
Gebdi Labor	0,39		1,88	
	0,40	0,39	1,87	1,88
	0,38		1,88	
Union Sommerwachs	0,34		1,72	
	0,32	0,33	1,73	1,73
	0,32		1,74	
Union Winterwachs	0,38		1,64	
	0,37	0,39	1,80	1,74
	0,42		1,77	

PROBE	VERSUCH A : 20°C		VERSUCH B : 36,5°C	
	Eindring- tiefe (mm)	Mittel aus 3 Messungen $\bar{s}$ (mm)	Eindring- tiefe (mm)	Mittel aus 3 Messungen $\bar{s}$ (mm)
Steinhart Standard	0,38		2,65	
	0,40	0,39	2,60	2,61
	0,40		2,59	
Steinhart AA	0,50		1,73	
	0,49	0,49	1,70	1,71
	0,48		1,71	
Steinhart BB	0,41		1,48	
	0,38	0,40	1,51	1,50
	0,40		1,51	
Heko S	0,33		0,81	
	0,33	0,33	0,79	0,79
	0,34		0,78	
Heko SH	0,23		0,42	
	0,22	0,23	0,44	0,43
	0,23		0,43	
Heko SO	0,42		1,20	
	0,42	0,42	1,19	1,20
	0,42		1,20	
Heko T	0,37		0,60	
	0,36	0,37	0,62	0,62
	0,38		0,63	
Heko W	0,41		1,19	
	0,44	0,43	1,23	1,21
	0,43		1,22	
Dentaurum	0,38		3,10	
	0,38	0,38	3,05	3,04
	0,37		2,96	
Kuki	0,39		3,12	
	0,39	0,39	3,08	3,09
	0,38		3,06	

PROBE	VERSUCH A : 20°C		VERSUCH B : 36,5°C	
	Eindring- tiefe (mm)	Mittel aus s 3 Messungen $\bar{s}$ (mm)	Eindring- tiefe (mm)	Mittel aus s 3 Messungen $\bar{s}$ (mm)
Moyco hard	0,20		1,06	
	0,20	0,20	1,04	1,05
	0,20		1,04	
Moyco x - hard	0,13		0,64	
	0,14	0,14	0,65	0,64
	0,14		0,64	
Kerr 2 regular	0,21		0,60	
	0,21	0,21	0,59	0,60
	0,21		0,60	
Kerr 5 hard	0,17		0,74	
	0,17	0,17	0,73	0,73
	0,18		0,71	
Kerr Sure set	0,23		0,60	
	0,24	0,23	0,58	0,58
	0,23		0,57	
Tenasyle	0,40		1,05	
	0,38	0,39	1,07	1,06
	0,38		1,05	
Cavex 100 soft	0,37		1,63	
	0,37	0,37	1,63	1,63
	0,37		1,63	
Cavex 200 normal	0,34		1,22	
	0,34	0,34	1,24	1,23
	0,35		1,23	
Cavex 300 hard	0,29		0,96	
	0,31	0,30	0,99	0,98
	0,30		1,00	

Tab. 2 : Eindringtiefe der Prüfkegel verschiedener Wachse bei 20°C und 36,5°C

1.7 Ergebnisse der Untersuchungen der Eindringtiefe

Bei 20°C zeigt "Moyco x hard" die größte Härte, "Steinhart AA" die geringste.

Bei 36,5°C ist "Kerr Sure set" am härtesten, "Morsa 1155" am weichsten. Insgesamt variieren die Eindringtiefen bei 20°C zwischen 0,13 und 0,50 mm. Bei 36,5°C zwischen 0,42 und 3,70 mm.

Damit ist die allgemein bekannte Tatsache bestätigt, daß Wachse mit zunehmender Temperatur weicher werden. Allerdings reagieren die einzelnen Fabrikate sehr verschieden.

Bei einigen bleibt die Härte relativ konstant, z.B. bei Heko SH und Heko T, während z.B. bei den Morsa-Wachsen, oder Kuki-Wachsen eine sehr große Temperaturabhängigkeit zu sehen ist.

Zudem läßt sich zwischen Sommer- und Winterwachs der Dental-Union kein Qualitätsunterschied in bezug auf die Härte nachweisen. Ebenso sind die Angaben weich, hart und extra hart nicht zwischen den einzelnen Fabrikaten zu vergleichen.

2. Plasto-elastisches Verhalten

2.1 Aufstellung der getesteten Wachse

Für die weiteren Untersuchungen wurden drei Wachse ausgewählt, die repräsentativ für die Gruppen weichen, mittleren und härteren Materials stehen.

2.1.1 Morsa Modellierwachs prima

2.1.2 Gebdi Modellierwachs rosa Standard

2.1.3 Rosa Modellierwachs Spitzenqualität Winterwachs

Herstellerangaben siehe unter 1.1

2.2 Theoretische Grundlagen

Kristalline Festkörper entwickeln Gegenkräfte wenn sie deformiert werden.

Bei elastischen Festkörpern geht die Formänderung wieder zurück. Wird aber die sog. Elastizitätsgrenze überschritten, d.h. die verformenden Kräfte übersteigen eine gewisse Größe, so bleibt die Formänderung zum Teil oder ganz bestehen.

Der Körper gibt dann den äußeren Kräften nach, er fließt oder wird plastisch. Das letztere Verhalten ist vor allem den amorphen Stoffen eigen. Zu diesen zählen auch die Wachse.

Denn laut BERGMANN-SCHÄFER (10) besteht ein charakteristischer Unterschied zwischen kristallinen Körpern und Wachsen darin, daß erstere bei einer scharf definierten Temperatur vom festen in den flüssigen Zustand plötzlich übergehen, während Wachse und andere amorphen Stoffe mit steigender Temperatur einen stetigen Übergang vom festen in den flüssigen Zustand zeigen, indem sie allmählich weich, dann zäh und schließlich dünnflüssig werden.

Auch von ROSENBERG (11) sieht eine Abhängigkeit vom strukturellen Aufbau in bezug auf das plasto-elastische Verhalten und Schmelzen. Absolut elastische, oder unelastische Körper gibt es nicht, da beide soweit sie verformt werden, potentielle Energie enthalten.

2.3 Versuchsaufbau

Zur Untersuchung diente wieder das Konsistometer der Firma HAAKE, diesmal aber mit der Meßeinrichtung III (Elastometereinrichtung).

Diese besteht aus einem festen und einem geführten Stempel mit planparallelen Stirnflächen, zwischen denen die Prüfkörper komprimiert werden.

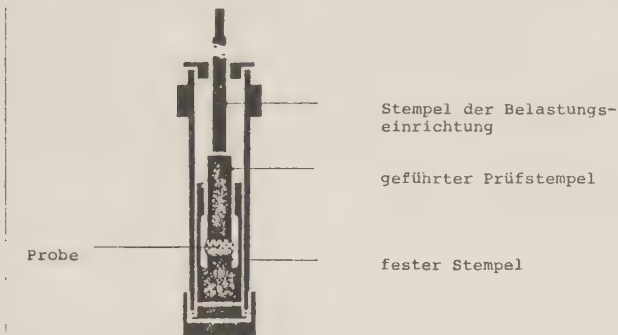


Abb. 2 : Meßeinrichtung III des HAAKE Konsistometers

2.4 Vorversuche

2.4.1 Herstellung der Prüfkörper

Gemäß den Angaben der Firma HAAKE wurden zylindrische Prüfkörper mit einem Durchmesser von 11,5 mm und einer Höhe von 6,5 - 7,5 mm (entspricht jeweils 5 Plattenstärken) hergestellt.

2.4.2 Festlegung von Belastungsgewicht und Versuchsdauer

Um einerseits eine Deformation der Proben zu vermeiden und andererseits noch eine meßbare Rückstellkraft zu erreichen, mußten Belastungsgewicht und Versuchsdauer aufeinander abgestimmt werden.

Bei der Temperatur von 20°C erwies sich eine Belastung von 76,2 N bei einer Versuchsdauer von 2 Minuten (1 Minute belasten - 1 Minute entlasten) als günstig.

Bei der Temperatur von $36,5^{\circ}\text{C}$ wurde mit einer Kraft von 2,1 N 5 Minuten belastet und 5 Minuten entlastet. Bei höherer Kraft zeigten die Prüfkörper eine Deformation, bei kürzerer Versuchsdauer keine meßbare Rückstellung.

2.5 Versuchsdurchführung

Die Prüfkörper lagen zwischen den Stempeln der Meßeinrichtung, ihr planes Aufliegen wurde visuell überprüft. Der geführte Stempel (0,27 N) wirkte als Vorlast.

Nach 30 minütigem Temperieren konnten die Messungen (wieder je drei Proben pro Temperatur) wie oben beschrieben, durchgeführt werden.

2.6 Meßdaten

In Versuch A wurden die Prüfkörper bei 20°C jeweils 1 Minute be- und entlastet. Die Belastung bestand aus dem Gewicht des Meßstempels (50 g), dem Gewicht des Meßgestänges (192 g), dem Gewicht des geführten Stempels (Vorlast, 28 g) und einem Zusatzgewicht (7.500 g), insgesamt also 7.770 g entsprechend 76,2 N. In Versuch B dagegen wurden die Prüfkörper bei 36,5°C jeweils fünf Minuten be- und entlastet, die Belastung durch das Gewicht des Meßstempels und die Vorlast blieben konstant. Variiert wurden das Gewicht des Meßgestänges (84 g) und das Zusatzgewicht (50 g).

2.6.1 Versuch A

Temp. : 20,0°C ± 0,1°C

Zeit : 1 min. belasten

----- 1 min. entlasten

Belastung :

Gewicht des Meßstempels 50 g

Gewicht des Meßgestänges 192 g

Vorlast (Gew. des geführten Stempels) 28 g

Zusatzgewicht 7500 g

Gesamtbelastung g 7770 g

----- = 76,2 N

Tab. 3 : Versuchsbedingungen Versuch A

PROBE	Höhe vor Belastung	Höhe nach Belastung	Höhe nach Entlastung	Elastische Rückfederung
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
GEBDI	8,30	7,91	7,97	0,06
	8,21	7,86	7,93	0,07
	8,20	7,86	7,93	0,07
UNION	7,65	7,35	7,40	0,05
	7,75	7,43	7,48	0,05
	7,70	7,38	7,43	0,05
MORSA	6,90	6,53	6,56	0,03
	7,12	6,71	6,75	0,04
	7,08	6,68	6,72	0,04

Tab. 4 : Ergebnisse Versuch A

2.6.2 Versuch B

Temp. : $36,5^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$

Zeit : 5 min. belasten

5 min. entlasten

Belastung :

Gewicht des Meßstempels 50 g

Gewicht des Meßgestänges 84 g

Vorlast 28 g

Zusatzgewicht 50 g

Gesamtbelastung g 212 g

= 2,1 N

Tab. 5 : Versuchsbedingungen Versuch B

PROBE	Höhe vor Belastung (mm)	Höhe nach Belastung (mm)	Höhe nach Entlastung (mm)	Elastische Rückfederung (mm)
GEBDI	8,20	7,97	7,98	0,01
	8,21	7,98	7,99	0,01
	8,14	7,92	7,94	0,02
UNION	7,74	7,53	7,55	0,02
	7,70	7,50	7,51	0,01
	7,67	7,46	7,48	0,02
MORSA	6,80	6,47	6,51	0,04
	6,72	6,37	6,40	0,03
	6,76	6,36	6,40	0,04

Tab. 6 : Ergebnisse Versuch B

2.7 Ergebnisse der Untersuchungen des plasto-elastischen Verhaltens

Bei allen drei Wachsen ist sowohl ein plastisches, als auch ein elastisches Verhalten zu sehen.

Dabei erweist sich bei beiden Versuchsreihen, daß sich das Morsa-Wachs etwas stärker deformieren läßt als Gebdi- und Union-Wachs.

Dagegen ist die Rückfederung bei 20°C beim Morsa-Wachs am geringsten, bei 36,5°C aber am stärksten. Aufgrund der unterschiedlichen Versuchsbedingungen bei 20°C und 36,5°C kann man keine vergleichbaren Aussagen über den Einfluß der Temperatur auf das plasto-elastische Verhalten machen.

Für beide Versuchsreihen läßt sich ein unterschiedliches plasto-elastisches Verhalten der geprüften Wachse feststellen.

Die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen lassen sich dagegen nicht vergleichen, da keine einheitlichen Versuchsbedingungen gefunden werden konnten.

Der Temperaturunterschied bei beiden Versuchen veränderte die geprüften Wachse dermaßen, daß sowohl das Belastungsgewicht als auch die Belastungsdauer verändert werden mußten. (s. S. 22).

3. Thermisches Verhalten von Prothesenaufstellungen

3.1 Aufstellung der getesteten Wachse

Es wurden die gleichen Wachse verwendet wie unter 2.1 angegeben.

3.2 Theoretische Grundlagen

Im allgemeinen dehnen sich alle Körper mit zunehmender Temperatur aus; als Maß dient der sog. "Ausdehnungskoeffizient" ($\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$), der für jeden Stoff verschieden ist.

Dies gilt auch für die einzelnen Wachsorten.

Wie CRAIG, EICK und PEYTON (12) 1965 herausgefunden haben, neigen z.B. Mineralwachse wie Ozokerit, Paraffin oder Ceresin zu größerer Wärmeexpansion, als pflanzliche Wachse wie Carnaubawachs, das als einziges zwischen 22⁰C und 52⁰C eine konstante, lineare Wärmeexpansion aufweist.

So läßt sich laut FEHLNER (13) die Qualität der Modellierwaxse weniger am Schmelzpunkt, als vielmehr an der Wärmeexpansion ablesen, denn sowohl im Labor (beim Aufstellen der künstlichen Zähne in Wachs), als auch in der Praxis (beim Einprobieren des Wachsmo^delles der Prothese) werden diese relativ großen Temperaturdifferenzen ausgesetzt.

3.3 Versuchsaufbau

Die Temperierung der Prothesenaufstellungen (Versuchstemperaturen : $36,5^{\circ}\text{C}$, 28°C , 22°C , 16°C) erfolgte mit einem Tropen-Klimaschrank der Firma KÜTTERMANN.

Zur Vermessung wurde ein Digital-Mikroskop der Fa. ZEISS verwendet, das eine Meßgenauigkeit von $0,002\text{mm}$ erlaubt.

Ein Fadenkreuz im Okular erleichterte das Auffinden der Meßmarkierungen (siehe unten).

3.4 Vorversuche

Da der Klimaschrank die tiefen Temperaturen (16°C und 22°C) nicht erreichte, mußte zusätzlich ein Verdampferblech installiert werden. Dieses wurde mittels eines mit Äthylenglykol gefüllten Umwälzthermostaten durch das Aggregat E K 11 der Firma HAAKE gekühlt.

In mehreren Versuchsreihen ließ sich somit die Temperaturregelung abstimmen.

Um sich Gewißheit darüber zu verschaffen, wie lange die Prothesenaufstellungen zu temperieren waren, erfolgten nachstehende Versuche.

Die Temperatur im Innern eines Wachswürfels von 2 cm Kantenlänge wurde mit einem Thermoelement im Zentrum mit Hilfe eines Schreibers (RIKADENKI) aufgezeichnet.

Nach 20 Minuten war die Umgebungstemperatur erreicht. Darüberhinaus wurden die Modelle mittels einer Form gegossen, wobei der Gips (Hartgips blau) stets im gleichen Verhältnis - Wasser zu Pulver - angerührt und anschließend zwei Tage abgelagert wurde.

Ein weiteres Problem stellten die Meßmarkierungen dar.

Zunächst wurde eine kleine Kavität in den distobukkalen Höcker der zweiten Molaren und in den bukkalen Höckerspitzen der ersten Prämolaren mit Amalgam gefüllt, diese Füllungen poliert und mit einem Fadenzkreuz markiert.

Unter dem Mikroskop erwiesen sich jedoch die Amalgammarkierungen als zu ungenau. Deshalb wurden auf eingeschliffene Plateaus (distobukkale Höcker der 2. Molaren und bukkalen Höckerspitze der 1. Prämolaren) verschiedene Metallfolien geklebt, in die mit einem Skalpell ein Kreuz eingraviert war, für das bloße Auge kaum zu erkennen.

Verwendung fanden Weißblech-, Aluminium- und Bronzeplättchen mit einer Kantenlänge von 1,5 mm. Die am besten unter dem Mikroskop ablesbaren Markierungen waren die auf der Bronze- folie.

Auf den Meßtisch des Mikroskops wurde ein rechter Winkel geschraubt, die Modelle auf rechteckige Acrylglasplatten geklebt, um somit eine eindeutige Fixierung vorauszusetzen.

3.5 Versuchsdurchführung

Sowohl für den Oberkiefer, wie auch für den Unterkiefer wurden zwei Aufstellungsarten - A und B - gewählt.

A : 1 Plattenstärke Wachs zwischen Zähnen
(Mineralzähne) und Gipsmodell

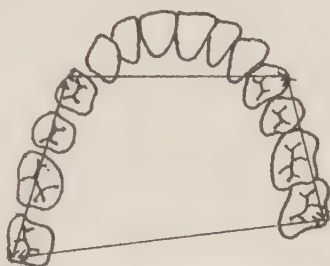
B : 1 Plattenstärke plus 5 mm Wachs zwischen
Zähnen und Gipsmodell

In einer Kieferhälfte (1. und 3. Quadrant) waren die Seitenzähne auf Lücke gestellt, in der anderen (2. und 4. Quadrant) in Kontakt.

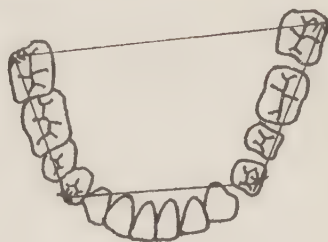
Pro Kiefer, Wachs und Aufstellungsart entstanden so je drei Modelle. Jeweils sechs Modelle (3 OK, 3 UK) einer Aufstellungsart und eines Wachses wurden in den Klimaschrank gestellt, begonnen bei einer Temperatur von $36,5^{\circ}\text{C}$.

Nach 30 Minuten wurden folgende sagittale und trans-
versale Strecken dreimal vermessen :

Oberkiefer : 27 - 17
 27 - 24
 14 - 24
 14 - 17



Unterkiefer : 47 - 37
 47 - 44
 34 - 44
 34 - 37



Nach Beendigung jeder Meßreihe mußten die Modelle
wieder in den Klimaschrank gestellt werden, die
neue Temperatur gewählt und nach ihrem Erreichen im
Schrank wieder 30 Minuten gewartet werden.

Damit wurden die Temperaturen (28°C , 22°C , 16°C)
berücksichtigt, die im allgemeinen unter Laborbe-
dingungen herrschen können.

Die Temperatur von $36,5^{\circ}\text{C}$ war als Vergleich zur Kör-
pertemperatur gedacht.

3.6 Ergebnisse

3.6.1 Tabelle 7

Morsa OK (Aufstellungsart B)

	<u>36,5°C</u>	<u>28°C</u>
	Länge absolut	$\Delta l \text{ } 36,5^{\circ} - 28^{\circ}\text{C}$
	$\frac{1}{1000} \text{ mm}$	
27 - 17	50170	198
27 - 24	23770	38
14 - 24	35552	226
14 - 17	25486	92

	<u>22°C</u>	<u>16°C</u>
	$\Delta l \text{ } 28^{\circ} - 22^{\circ}\text{C}$	$\Delta l \text{ } 22^{\circ} - 16^{\circ}\text{C}$
27 - 17	70	40
27 - 24	20	--
14 - 24	84	24
14 - 17	46	28

Die Seitenzähne im 2. Quadranten sind in Kontakt gestellt, die Seitenzähne im 1. Quadranten lückig. Bei den Seitenzähnen, die in Kontakt gestellt waren, ergab sich (spätestens) nach 22°C keine Veränderung mehr.

Möglich ist, daß es beim Aufstellen nicht gelang, den Raum zwischen den Zähnen völlig wachsfrei zu halten; deshalb die Kontraktion des Wachses und Verkleinerung der Strecke 27 - 24.

Nach Erreichen von 22°C standen die Zähne dann in Kontakt und stützten sich gegenseitig ab (Stabilisierung in der Sagittalen).

BAWENDI (1) fordert Kontakt zwischen den Ersatzzähnen, da dieser zur Minderung der Lageänderung in sagittaler Richtung führt.

Bei dem Temperaturschritt von 36,5°C - 28°C zeigte sich die größte Veränderung; bei den nachfolgenden nahm das Ausmaß der Veränderung immer mehr ab.

3.6.2 Tabelle 8

Oberkiefer : Aufstellungsart A

Mittel aus drei Messungen von Δl 36,5°C - 16°C in %

		GEBDI	UNION	MORSA
27	- 17	0,29	0,30	0,44
27	- 24*			
14	- 24	0,49	0,45	0,89
14	- 17	0,44	0,41	0,58

Aufstellungsart B

		GEBDI	UNION	MORSA
27	- 17	0,34	0,35	0,62
27	- 24*			
14	- 24	0,50	0,45	1,07
14	- 17	0,48	0,47	0,63

*Die Werte wurden aus den unter 3.1 genannten Gründen nicht in die Berechnung mit einbezogen.

GEBDI und UNION zeigten annähernd gleiches Verhalten; die Veränderungen betragen :

Bei Aufstellungsart A : 0,29 - 0,49%

Bei Aufstellungsart B : 0,34 - 0,50%

Bei dem Wachs von MORSA ergaben sich größere Veränderungen :

Bei Aufstellungsart A : 0,44 - 0,89%

Bei Aufstellungsart B : 0,62 - 1,07%

3.6.3 Tabelle 9

Unterkiefer : Aufstellungsart A

Mittel aus drei Messungen von Δl 36,5°C - 16°C in %

	GEBDI	UNION	MORSA
47 - 37	0,21	0,20	0,35
47 - 44*			
34 - 44	0,38	0,38	0,56
34 - 37	0,34	0,47	0,47

Aufstellungsart B

	GEBDI	UNION	MORSA
47 - 37	0,31	0,36	0,44
47 - 44*			
34 - 44	0,59	0,58	0,81
34 - 37	0,55	0,54	0,68

GEBDI und UNION zeigten wieder annähernd gleiches Verhalten, wobei nur der Wert des UNION-Wachses von 34 - 37 bei der Aufstellungsart A mit 0.47% aus dem Rahmen fiel.

Bei Aufstellungsart A : 0.21 - 0.38% (bzw. 0.47%)

Bei Aufstellungsart B : 0.31 - 0.59%

Bei dem Wachs von MORSA ergaben sich größere Veränderungen :

Bei Aufstellungsart A : 0.35 - 0.56%

Bei Aufstellungsart B : 0.44 - 0.81%

Es zeigte sich, wie auch im OK, daß die prozentuale Veränderung bei allen Wachsen bei der Aufstellungsart B größer war.

IV. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

An insgesamt 30 Modellierwachsen wurden vergleichende Härteuntersuchungen durchgeführt.

Laut einem deutschen Norm-Entwurf (14) werden drei Typen klassifiziert : weich, mittelhart und hart; eine Einteilung, die auch einige Hersteller für ihre Wachse heranziehen. Solche Angaben sind zwar für die Produktreihe eines Herstellers zutreffend, aber nicht reproduzierbar auf verschiedene Fabrikate. So zeigt "Kerr 5 hard" eine geringere Eindringtiefe und damit größere Härte als "Moyco hard", oder "Cavex 300 hard". Ebenso besteht in dieser Beziehung kein großer Qualitätsunterschied zwischen dem "Dental-Union Sommerwachs" und dem "Winterwachs" derselben Firma.

Als weitere Eigenschaft von Wachsen wurde das plasto-elastische Verhalten überprüft, das allerdings nicht ideal sein kann, da es sich laut physikalischer Definition um "zähe Flüssigkeiten"(6) handelt.

So ließen sich auch die von REHBERG (15) 1955 und von NORD (12) 1978 gemachten Aussagen nicht bestätigen, da schon der Versuch in der von ihnen beschriebenen Weise nicht durchzuführen war.

Wie bereits in Kapitel 2.4.2 näher erläutert, konnten mit der beschriebenen Meßvorrichtung keine gleichen Parameter für beide Temperaturen ermittelt werden, so daß auch keine Aussagen über den Zusammenhang zwischen den beiden Versuchstemperaturen und plasto-elastischem Ver-

halten möglich waren.

So wurde der Versuch auf die drei Wachse beschränkt, mit denen später auch die Prothesenaufstellungen erfolgten.

Fazit dieser Untersuchungen ist : Es konnte ein plasto-elastisches Verhalten festgestellt werden.

Bei den härteren Wachsen Gebdi und Dental-Union ist die Deformation geringer als bei dem weicheren "Morsa-Wachs". Diese beiden Wachse lieferten auch bei der anschließenden Untersuchung über das thermische Verhalten von Prothesenaufstellungen wieder die besseren Ergebnisse.

Bei Morsa prima zeigten die Wachsprothesen ihre geringste thermische Stabilität, eine Tatsache, die FEHLNER (13) bestätigt. Während bei diesen Untersuchungen die Kontraktion des Wachses bei Temperaturen von $36,5^{\circ}\text{C}$ bis 16°C beobachtet wurde, beschäftigte sich FEHLNER (13) mit der Wärmeexpansion. Diese darf laut Fachnormenausschuß Dental (14) nicht mehr als 0,8% betragen, ein Wert, der von Morsa prima erheblich überschritten wird. Da dieses Wachs zudem die geringste Härte der drei Fabrikate aufweist, kann man auf einen Zusammenhang zwischen Härte und thermischem Verhalten schließen.

Neben der Qualität der Wachse, hat auch die Art der Prothesenaufstellung einen Einfluß auf ihre thermische Stabilität. Bei den auf Lücke gestellten Zähnen fanden größere Wanderungen statt, ebenso zeigte sich die OK-Aufstellung instabiler, als die des UK.

Die Möglichkeiten einer Wärmeexpansion bzw. -kontraktion steigt mit der Menge des verwendeten Wachses.

Die Dimensionsänderungen sind bei dem Temperatursprung von $36,5^{\circ}\text{C}$ auf 28°C bei allen Wachs- und Aufstellungsarten am größten.

Es muß darauf hingewiesen werden, daß bei den vorliegenden Untersuchungen nicht meßbare Parameter hinzukommen; da die Prothesen nicht gegossen wurden, sondern das Wachs schichtweise aufgetragen wurde, war eine homogene Verteilung nicht gesichert. Weiterhin bestand die Möglichkeit von Lufteinschlüssen.

V. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde die Härte von 30 dentalen Modellierwachsen untersucht.

Anhand dieser Ergebnisse wurden exemplarisch drei Wachse ausgewählt und an ihnen das plasto-elastische Verhalten und Dimensionsänderungen von Wachsprothesenaufstellungen bei unterschiedlichen Temperaturen untersucht.

Die Härte und das plasto-elastische Verhalten wurden mit einem Konsistometer der Firma HAAKE untersucht. Dabei wurden unterschiedliche Meßeinrichtungen verwendet.

Für die Untersuchungen der Dimensionsänderungen wurde eine eigene Methodik entwickelt.

Die Untersuchungen über die Eindringtiefe ergaben bei 20°C Werte zwischen 0,13 und 0,50 mm, bei 36,5°C zwischen 0,42 und 3,70 mm.

Es zeigte sich, daß bei einigen Fabrikaten die Eindringtiefen trotz verschiedener Temperaturen relativ konstant blieben, bei anderen hingegen sehr stark variierten.

Zum plasto-elastischen Verhalten ließen sich unterschiedliche Versuchsergebnisse der geprüften Wachse einer Versuchsreihe feststellen.

Ein Vergleich der Prüfreihe unterschiedlicher Temperaturen konnte aufgrund uneinheitlicher Durchführungsbedingungen nicht erfolgen.

Die Dimensionsänderung war bei dem Temperatursprung von 36,5°C auf 28°C am größten. Sie steigt mit der Menge des verwendeten Wachses; insgesamt betrug sie maximal 1% .

Im Vergleich zu den anderen Fehlerquellen bei der Herstellung einer Total- oder Vollprothese, z.B. die Polymerisationsschrumpfung beim Umsetzen der Wachsprothese in Kunststoff und mechanische Beanspruchung der Wachsaufstellung bei der Anprobe beim Patienten, erweisen sich die Fehlermöglichkeiten bei der Aufstellung der Zähne als gering.

VI. LITERATURVERZEICHNIS

1. BAWENDI, B. : Der Einfluß unterschiedlicher Herstellungsverfahren auf die Lage-Änderung der Ersatzzähne und die Formänderung der Prothesenbasis.
dental-labor 9,921-925 (1973)
2. EBERLE, T. : Untersuchungen über Formveränderungen an Oberkiefer-Kunststoffprothesen unter dem Einfluß verschiedener Polymerisationsmethoden.
Med.Diss. Mainz 1976
3. REIMER-NEMATOLLAHI, M. : Veränderung der Stellung der künstlichen Zähne von Oberkiefer-Vollprothesen in Abhängigkeit vom Herstellungsverfahren.
Med.Diss. Mainz 1976
4. SANDER, A. : Experimentelle Untersuchungen mit Silikon-Isoliermitteln bei der Prothesenherstellung unter besonderer Berücksichtigung der Veränderung der Stellung der Ersatzzähne.
Med.Diss. Mainz 1979
5. WERNER, K.D. : Experimentelle Untersuchungen über im Prothesengießverfahren hergestellte Prothesen unter besonderer Berücksichtigung der Veränderung der Stellung der Ersatzzähne unter dem Einfluß der Zentrifugalkraft.
Med.Diss. Mainz 1977

6. WEIKART, P. : Werkstoffkunde für Zahnärzte
4. Auflage.
Carl Hanser-Verlag, München, 1966
7. REHBERG, H.J. : Zahnärztliche Wachse
in : EICHNER, K. : Zahnärztliche
Werkstoffe und ihre Verarbeitung
Dr. A. Hüthig-Verlag, Heidelberg 1974
8. KNISCHEWSKI, F. : Materialienkunde der Zahntechnik
Richard Pflaum-Verlag, München 1951
9. NEHRING, G. : Prüfungsergebnisse über Wachsunter-
suchungen .
Bundesanstalt für Materialprüfung
Berlin, 1973
10. BERGMANN-SCHÄFER, J. : Lehrbuch der Experimentalphysik
Band I, Kap. V.
De Gruyter-Verlag, Berlin 1943-50
11. VON ROSENBERG, G. : Fette, Seifen, Anstrichmittel
56, (1954)
Industrieverlag v. Hernhausen KG
Hamburg
12. CRAIG, R.G, EICK, J.D. and
PEYTON, F.A. : Properties of natural waxes used
in dentistry.
J.dent.Res. 44, 1308-1316 (1965)
13. FEHLNER, K. : Bestimmung von Schmelzpunkt und Wär-
meexpansion verschiedener dentaler
Modellierwachse.
Med.Diss. Mainz 1979
14. FACHNORMENAUSSCHUß DENTAL IM
DEUTSCHEN NORMENAUSSCHUß : Zahnärztliche Werkstoffe
Basisplattenwachs, Anforderungen,
Prüfung
(Entwurf)

LEBENS LAUF

Am 9. August 1953 wurde ich, Reinhard Hupfauer, als Sohn des Elektromeisters Josef Hupfauer und seiner Ehefrau Gerda, geb. Rinke, in München geboren.

Von September 1959 bis Juli 1963 besuchte ich die Volksschule an der Weissenseestraße, wechselte dann auf das Asam-Gymnasium, wo ich im Mai 1973 die Reifeprüfung ablegte.

Von Oktober 1973 bis September 1975 leistete ich meinen Wehrdienst ab.

Im Oktober 1975 nahm ich an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz das Studium der Zahnheilkunde auf, bestand im Herbst 1976 die naturwissenschaftliche und im Frühjahr 1978 die zahnärztliche Vorprüfung.

Am 27. November 1980 habe ich die zahnärztliche Prüfung bestanden.

Die Bestallung als Zahnarzt erhielt ich am 18. Dezember 1980.

